

AS



11 Veröffentlichungsnummer: 0 428 853 A2

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 90119196.5

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: H01J 1/30, H01J 3/02

22 Anmeldetag: 05.10.90

30 Priorität: 23.11.89 DE 3938752

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
29.05.91 Patentblatt 91/22

84 Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU NL SE

71 Anmelder: Riege, Hans, Dr.  
Am Guntramshügel 22  
W-8220 Traunstein(DE)

72 Erfinder: Riege, Hans, Dr.  
Am Guntramshügel 22  
W-8220 Traunstein(DE)

54 Kathode zur Erzeugung von intensiven, modulierten Ein- oder Mehrkanal-Elektronenstrahlen.

57 Beschrieben wird eine Quelle für gepulste Elektronenstrahlen, welche großflächig zur Emission angeregt und entweder als Gesamtheit oder individuell in ihrer Pulsfrequenz, Energie und Stromstärke moduliert werden können. Die Kathode kann als Elektronenkanone für Anwendungen in Beschleunigern und freien Elektronenlasern, aber auch in

Hochleistungsradiofrequenz- und Kathodenstrahlröhren dienen. Die Anwendungen als modulierte Gigaherzquelle und als Quelle zur parallelen Bildinformationsverarbeitung in kompakten Kathodenstrahlröhren lassen sich als Hauptmerkmale nennen.

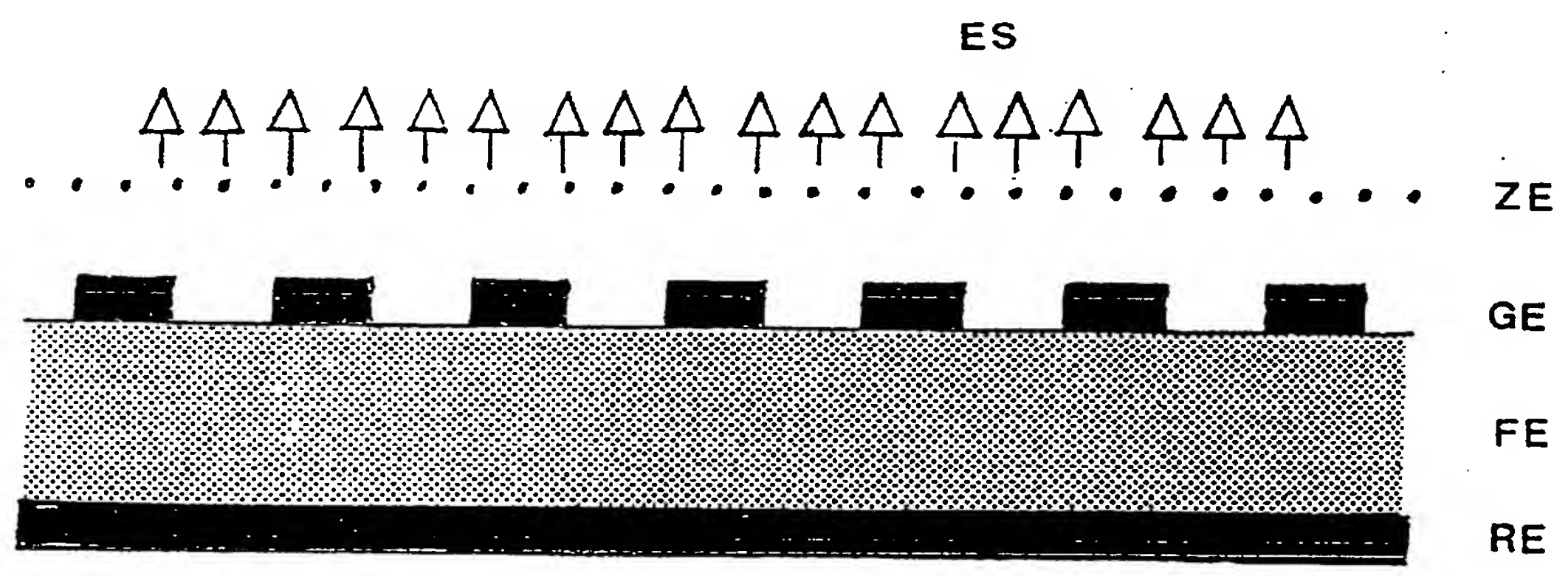


FIG. 1

EP 0 428 853 A2

# KATHODE ZUR GROSSFLÄCHIGEN ERZEUGUNG VON INTENSIVEN, MODULIERTEN EIN- ODER MEHRKANAL-ELEKTRONENSTRAHLEN

Die Erfindung betrifft eine gepulste Quelle für Elektronenstrahlen, welche entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1 nach vorangehender Modulation zur Hochfrequenz- oder Mikrowellenerzeugung oder zum Transport von Informationen verwendet werden sollen.

Elektronenquellen spielen in vielen modernen Technologiezweigen, wie in der Informationsverarbeitung, der Elektronik, der Materialbearbeitung, der Lasertechnik, der Mikrowellentechnik, der Hochfrequenztechnik und der Beschleunigertechnik eine Schlüsselrolle. Dabei werden nicht nur ständig wachsende Teilchenstrahldichten und Energien gewünscht, sondern die Strahlintensitäten, Strahldichten, Strahlformen, Pulslängen und Strahlqualitäten müssen in weiten Grenzen variiert und kontrolliert werden können. Die Anwendung der Teilchenstrahlen soll auch nicht nur auf Vakuum beschränkt sein, sondern ebenso in einer Umgebung aus Niederdruckgas oder Plasma möglich sein. Normalerweise ist eine definierte Energie der Einzelteilchen mit verhältnismäßig geringer Streubreite erforderlich. Eine effektive Quelle muß vier Bedingungen erfüllen:

- Auf einer Oberfläche eines emittierenden Mediums muß für die gewünschte Zeit eine definierte freie Ladungsmenge bereitgestellt werden.
- Ein elektrisches Feld muß die geladenen Teilchen von der Oberfläche abziehen, falls sie sich nicht durch ihr eigenes Raum- oder Flächenladungsfeld abstoßen.
- Dasselbe oder ein überlagertes elektrisches Feld muß den emittierten Strahl in der gewünschten Weise modulieren.
- Die emittierten Teilchen müssen gegebenenfalls durch ein weiteres äußeres elektrisches Feld auf die gewünschte Endenergie gebracht werden.

Heutzutage werden Elektronenstrahlen im wesentlichen mit Hilfe von thermionischen und photoelektrischen Methoden, sowie mit Sekundäremission oder reiner Feldemission erzeugt. Als emittierende Medien werden meist Metalle, Photokathoden oder Halbleiter in Vakuum benutzt. Tatsächlich sind dann weder die thermionische, noch die photoelektrische Methode, noch die Sekundäremission wirkliche Emissionseffekte, sondern brauchen alle ein starkes elektrisches Extraktionsfeld. Dieses ist erforderlich wegen der endlichen Elektronenaustrittsarbeit, die ein elektrisch leitendes Medium aufzeigt.

Bei der Feldemission ist die Extraktionsfeldstärke so hoch, daß selbst bei Raumtemperatur hohe Stromdichten aus Leitern extrahiert werden. Eine Verstärkung der Feldemission um Größen-

ordnungen oder Feldemission bei stark reduziertem elektrischen Extraktionsfeld kann mit der Anwendung von vielen feinen Spitzen auf der emittierenden Oberfläche erzielt werden (Vakuum-Mikroelektronik, siehe z.B. T. Grandke, Phys. Bl. 45 (1989), Nr. 10, S. 410).

Ein Beispiel für die Emission von Elektronen ohne äußeres Ziehfeld ist die Erzeugung von gepulsten Teilchenstrahlen mit Hilfe schnell umpolarisierter Ferroelektrika (siehe Patentanmeldungen 88 08 636 /INPI, Paris und P 38 33 604.9 / Deutsches Patentamt, München). Diese ungehinderte Selbstemission von ferroelektrischen Oberflächen kann vereinfacht dadurch plausibel gemacht werden, daß zum einen Ferroelektrika im allgemeinen Nichtleiter mit vernachlässigbarer Austrittsarbeit sind, und daß zum anderen die Spiegelladungen, welche bei einem Leiter die bereits ausgetretenen Elektronen unmittelbar zum Austrittsort zurückziehen, bei einem Ferroelektrikum (FE) durch die Änderung der spontanen elektrischen Polarisation auf die gegenüberliegenden Seite der aktiven Schicht gebracht worden sind. Das durch die Spiegelladungen auf die aus dem ferroelektrischen Medium ausgetretenen Elektronen ausgeübte Feld ist gegenüber dem durch die Oberflächenladungen erzeugten Eigenraumladungsfeld vernachlässigbar. Das durchschnittliche absolute Raumladungsfeld ist jedoch in seiner Amplitude der Dicke der FE-Schicht umgekehrt proportional. Mit dünnen Schichten kann deshalb auch bei sehr niedrigen Spannungen, z.B. unter 100 V, eine flächenhafte intensive Elektronenemission bewerkstelligt werden, wobei die mittlere Energie der emittierten Elektronen von derselben Größenordnung ist. Da die zur Polarisationsumkehr nötigen elektrischen Felder, beispielsweise bei PZT- und PLZT-Keramiken, im Bereich von 10 bis 100 kV/cm liegen, ergeben sich für solche Niederspannungsanwendungen Schichtdicken von 10 bis 100 µm.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde Elektronenstrahlen mit kontrollierbarer Zeitstruktur, Geometrie (z.B. mit rundem, band- oder ringförmigen Strahlquerschnitt), Stromstärke und Stromdichte zu erzeugen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß man aus der freien Oberfläche einer ferroelektrischen FE-Schicht, welche durch einen stromstarken Spannungspuls über eine perforierte Elektrode teilweise oder ganz umpolarisiert wird, einen Elektronenstrahl emittiert. Da eine schnell umpolarisierte FE-Schicht ohne externes Ziehfeld emittiert, können die äußeren Felder voll zum Steuern der emittierten Elektronenstrahlpulse eingesetzt

werden, wie es in den Merkmalen des Oberanspruchs 1 dargelegt ist. Das heißt, die Elektronen können entweder beschleunigt, verzögert oder ganz zurückgehalten werden, z.B. mit einer Elektrodenanordnung ZE, wie sie in Fig. 1 oder 2 gezeigt ist. Die Emissionsstromdichte  $j$  ergibt sich aus dem Anteil der umgekehrten, erzeugten oder vernichteten, spontanen Polarisation  $\Delta P_s$  und der Zeitspanne  $\Delta t_r$ , in der diese Änderung bewirkt wird

$$j = \frac{\Delta P_s}{\Delta t_r}$$

Die Emissionspulslänge ist normalerweise kürzer oder gleich der Pulslänge der externen Polarisationsumkehrpulse, die zwischen der (Gitter-) Elektrode GE und der rückseitigen Elektrode RE auf der FE-Schicht angelegt werden müssen. Die emittierte Elektronenstromstärke  $I$  ergibt sich aus  $j$  und der emittierenden Fläche  $F$  zu  $I = j \cdot F$ . Die mittlere Emissionsstromdichten und Stromstärken hängen dann noch von der Pulsfrequenz und der Pulslänge ab.

Der emittierte Elektronenstrahlpuls kann durch ein mäßiges externes Feld nicht nur in seiner momentanen und durchschnittlichen Intensität kontrolliert werden, sondern die ursprünglich Pulsstruktur kann durch entsprechend modulierte Felder über die Elektrode ZE vor der FE-Oberfläche GE noch weiter unterteilt werden. Zum Beispiel läßt sich ein typischer, 40 ns langer Emissionspuls mit einer HF-modulierten "Ziehelektrode" ZE in einen 40 ns langen Pulszug mit einer Repetitionsrate bis weit in den Gigahertzbereich umformen. Voraussetzung ist, daß die Amplitude der (sinusförmigen) Modulationsfeldstärke den Wert der mittleren kinetischen Elektronenemissionsenergie in eV übersteigt. Besitzt die Elektrode ZE Öffnungen zum Durchtritt der Elektronen, so wird der transportierte Elektronenstrahl während der negativen Halbwelle blockiert und während der positiven Halbwelle weiterbeschleunigt (Fig. 1).

Die Unteransprüche 2 und 3 zielen auf unterschiedliche Verwendung der emittierten Elektronen ab. In beiden Fällen ist aber eine perforierte Elektrode GE mit freien und metallbedeckten Oberflächenanteilen der FE-Schicht erforderlich. Die Aufteilung ist so zu wählen, daß die spontane Polarisation der FE-Schicht an den gewünschten Stellen durch das externe Feld geändert werden kann, wobei jedoch genügend freie Oberfläche zur Emission von Elektronen zur Verfügung gestellt werden muß.

Die Modulation oder die primäre Beschleunigung von der FE-Oberfläche weg hat mit einer zweiten Elektrodenanordnung ZE zu erfolgen, welche von der FE-Schicht durch eine vakuum-, gas-

oder plasmagefüllte Strecke getrennt ist. Diese Elektrode kann gleichzeitig als Maske zur teilweisen Ausblendung von Primärstrahlanteilen angewendet werden.

Unteranspruch 2 betrifft eine großflächige, gleichförmig modulierte Elektronenquelle (Fig. 1). Alle Teile des Strahls erfahren dabei dieselbe Modulation durch ein zeitabhängiges, elektrische Potential, welches über die Elektrode ZE angebracht wird. Die durch die Laufzeit des Modulationspotentials auftretenden Phasenunterschiede können später am emittierten Strahl geometrisch kompensiert werden (siehe z. B. H.M. Bizek et.al., IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 16, No. 2, April 1988, p. 258). Die mittlere Intensität des emittierten Strahls wird durch die Stärke der spontanen Polarisationsänderung  $\Delta P_s$  und durch die Wiederholfrequenz der Emissionspulse bestimmt. Bei Emissionsstromdichten von 10 bis 30 A/cm<sup>2</sup>, welche mit ferroelektrischen PLZT-Keramiken erzielt werden können, sind mit mehreren cm<sup>2</sup> aktiver Oberfläche Stromamplituden bis in den Kiloamperebereich möglich.

Unteranspruch 3 betrifft eine Elektronenstrahlquelle, bei der einige oder sehr viele Einzelanteile des Gesamtstrahls individuell moduliert werden können. Die mikroelektronische Ansteuerung der Einzelkanäle erfolgt parallel, d. h. über getrennt steuerbare Elektroden RE. Zur Polarisationsänderung einer einzelnen emittierenden Zelle sind größenordnungsmäßig 100 ns Pulse mit 1 A Strom- und 10 bis 30 kV/cm Feldamplitude über eine Schichtdicke von 100 µm erforderlich. Die Elektrode ZE dient in diesem Fall als Maske zum Ausblenden unerwünschter Strahlanteile, sowie zur Beschleunigung der Einzelstrahlen auf eine definierte kinetische Energie, die dem Verwendungszweck angepaßt ist.

Gewerbliche Anwendungen ergeben sich allgemein als Quellen für stromstarke Teilchenbeschleuniger, wie sie z. B. zum Betrieb von freien Elektronenlasern erforderlich sind, sowie als Quellen für die Erzeugung von Mikrowellen-, Röntgen- und Laserstrahlung, oder als neuartige Bauelemente in der Mikroelektronik (Mikrovakuumschalter und Mikrolaser). Gewerbliche Anwendungen der Anordnungen nach Unteranspruch 2 werden vor allem in der Erzeugung elektromagnetischer Wellen bis weit in den Gigahertzbereich gesehen (im Einklang mit den Prinzipien von Klystrons und Gigatrons, siehe z. B. H. M. Bizek et.al., IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 16, No. 2, April 1988, p. 258). Die Vorteile der hier beschriebenen Kathode liegen einmal in der Eigenemission der emittierenden FE-Schicht, sowie in der einfacheren Herstellung der Gesamtanordnung nach den in der Mikroelektronik bekannten Dünnschichtmethoden. Da die hier beschriebene Kathodenanordnung nur ebene FE-

Schichten benötigt, gestaltet sich ihre Herstellung weniger schwierig als die in der Vakuummikroelektronik üblichen Feldemissionskathoden, welche eine genaue Kontrolle der Gleichmäßigkeit der ultrafeinen emittierenden Spitzen (mit  $\mu\text{m}$ -Radien) erfordern.

Die Anordnung nach Unteranspruch 3 erlaubt die parallele Übertragung von Informationen durch getrennt gesteuerte Elektronenstrahlen. Die Informationen können in bekannter Weise auf einem Zielschirm optisch sichtbar gemacht werden. Die mögliche hohe Bildpunktdichte erlaubt die Konstruktion von Kathodenstrahlröhren mit sehr hoher Auflösung. Während eine konventionelle Kathodenstrahlröhre eine strahlenoptisch und elektronisch aufwendige Serienverarbeitung eines einzelnen oder, im Falle von farbigen Bildröhren, mehrerer Elektronenstrahlen erfordert, erlaubt die Parallelansteuerung ein optisch einfache, kompakte und ultraflache Ausführung der Elektronenstrahlröhre. Die Zusammenfassung mehrerer Elektronenstrahlkanäle zu einer gemeinsamen Bildpunktgruppe in Kombination mit einer entsprechenden Lochmaskenanordnung erlaubt die Verwendung konventioneller Farbphosphorschirme zur Darstellung farbiger Bilder.

#### Ansprüche

1. Großflächige Kathode zur Erzeugung von gepulsten, modulierten Elektronenstrahlen bestehend aus

einer ferroelektrischen Schicht FE,  
zwei Elektrodenanordnungen RE und GE auf beiden Seiten von FE,  
einer externen Hilfselektrode ZE in Vakuum oder Niederdruckgas im Abstand von mehreren Millimetern von der emittierenden Oberfläche,  
zwei elektrischen Schaltkreisen zur Felderzeugung und zur Feldmodulation zwischen RE und GE einerseits, sowie zwischen ZE und GE andererseits, gekennzeichnet dadurch, daß

◦ durch einen zwischen RE und GE angelegten Spannungspuls die spontane Polarisation der ferroelektrischen Schicht geändert und Elektronenemission von den freien Oberflächenanteilen auf der Seite der durchbrochenen Elektrode GE hervorgerufen wird,

◦ der emittierte Elektronenstrahl mit Hilfe der Elektrode ZE in seiner Intensität und Zeitstruktur moduliert wird,

◦ der Elektronenstrahl durch die geometrische Anordnung von ZE maskiert oder im Querschnitt geformt wird,

◦ der Strahl entweder im Vakuum weitertransportiert oder zur Ionisierung von Niederdruckgas verwendet wird,

◦ die mittlere Intensität des Elektronenstrahls entweder durch die Stärke der Umpolarisation von FE oder durch die Wiederholfrequenz des Erregerpulses an RE und GE bestimmt wird,

2. Kathode nach Oberanspruch 1 zur Erzeugung großflächiger **homogen modulierter** Elektronenstrahlen mit schmaler Energieverteilung, gekennzeichnet dadurch, daß

◦ die gesamte FE-Schicht relativ gleichmäßig umpolarisiert wird, sodaß alle freien Streifen oder Löcher auf der GE-Seite Elektronen mit relativ niedriger kinetischer Energie emittieren,

◦ an der Elektrode ZE ein elektrisches Modulationswechselfeld mit einer Amplitude, welche die Elektronenenergie spannungsmäßig erreicht oder übertrifft, angelegt wird, wodurch separate Elektronenstrahlpulse mit der Frequenz des Modulationsfeldes erzeugt werden,

◦ der Abstand und die Größe der Öffnungen in ZE im nachfolgenden Transportraum zur Ausbildung einer räumlich weitgehend gleichmäßigen Elektronenstromdichte führen,

◦ die laterale Ausführung der Gesamtanordnung, sowie die Einleitung der Erregungs- und Modulationsfelder so gewählt wird, daß die Phasenlage der emittierten Strahlanteile nur von einer Koordinate abhängen (dies bedingt eine bandartige Gesamtanordnung).

3. Kathode nach Oberanspruch 1 zur Erzeugung einer Vielzahl von **getrennt modulierten** und intensitätsgesteuerten Einzelelektronenstrahlen, gekennzeichnet dadurch, daß

◦ die Elektroden RE und GE in Teilbereiche, die mehrere Emissionskanäle umfassen können, aufgeteilt sind, in denen die Stromstärke und Energie der emittierten Elektronen, sowie die Pulsfrequenz getrennt gesteuert werden können,

◦ die Elektrode ZE als Maske zur Ausblendung definierter Einzelstrahlen, sowie zur Beschleunigung der Elektronen auf die für die Anwendung erforderliche Energie dient (z. B. um beim Auftreffen auf einen Fluoreszenzschirm eine zur Elektronenstromstärke proportionale Lichtemission hervorzurufen),

◦ die Gesamtzahl der emittierten Strahlen in Untersysteme (z. B. Träger verschiedener Farben) aufgeteilt werden, die zum Transport komplexer Informationen (z. B. von bildlichen Darstellungen jeglicher Art) dienen.



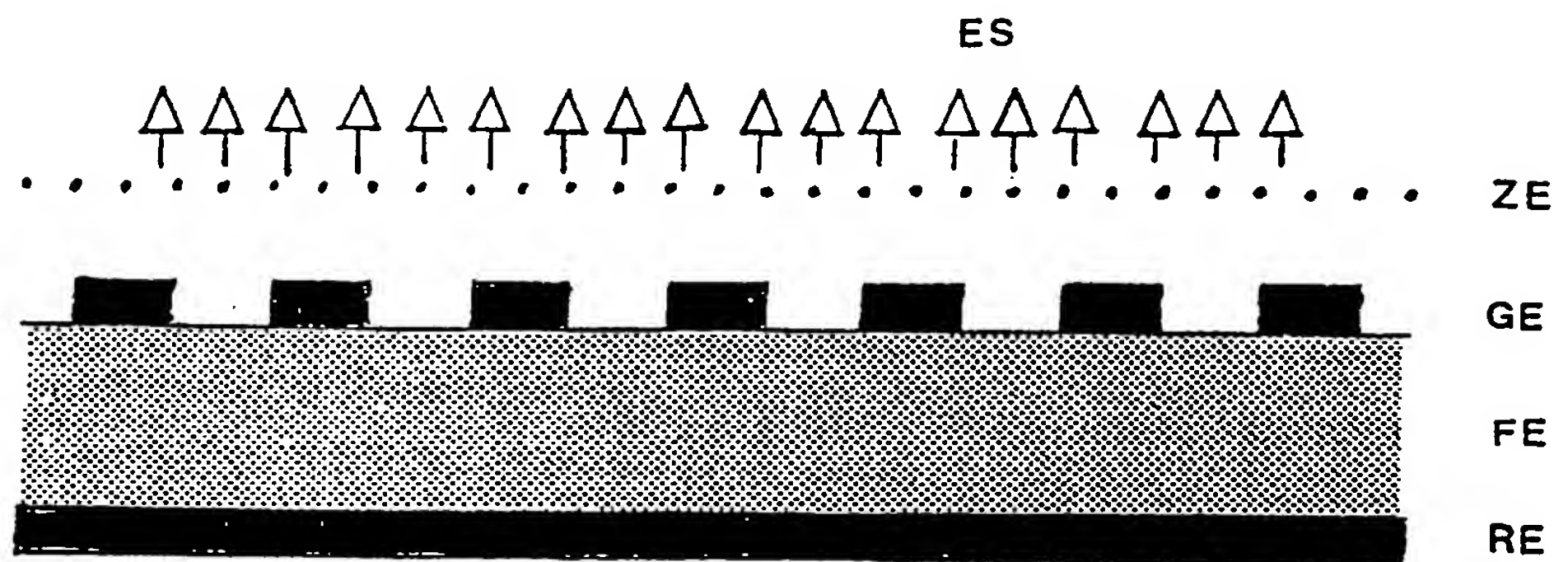


FIG. 1

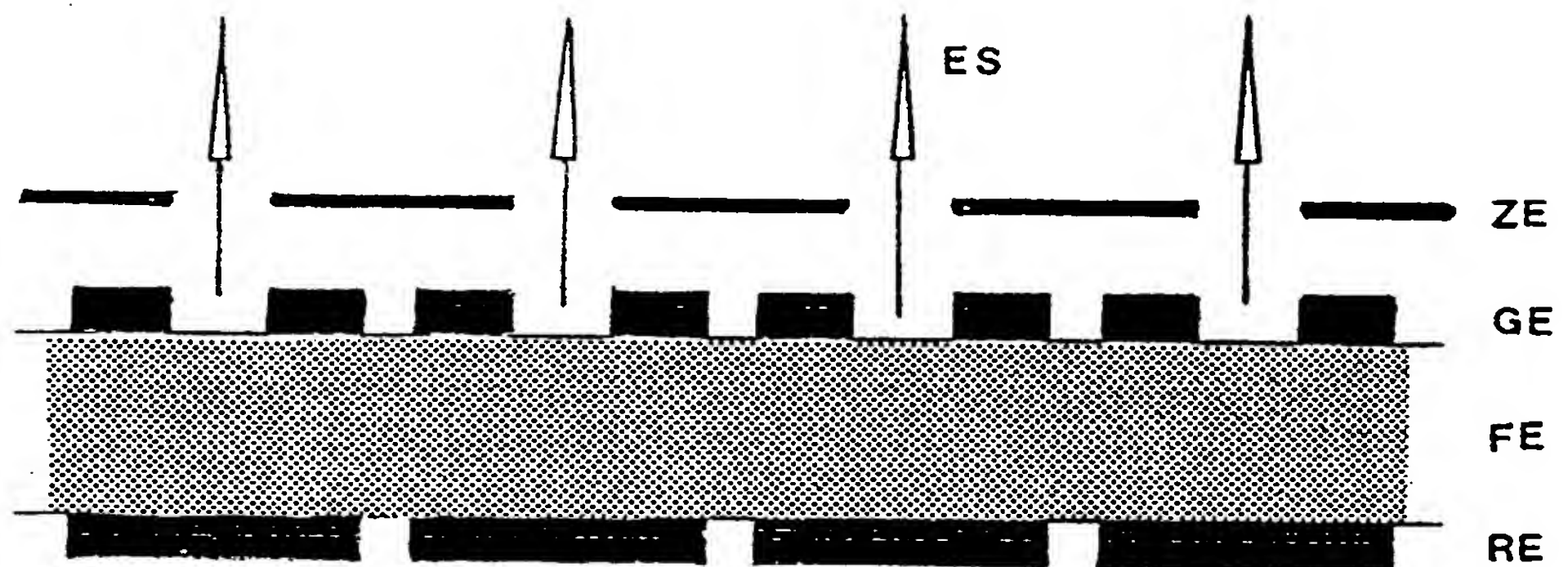


FIG. 2



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 428 853 A3**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 90119196.5

51 Int. Cl. 5: H01J 1/30, H01J 3/02

22 Anmeldetag: 05.10.90

30 Priorität: 23.11.89 DE 3938752

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
29.05.91 Patentblatt 91/22

84 Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB IT

88 Veröffentlichungstag des später veröffentlichten  
Recherchenberichts: 11.09.91 Patentblatt 91/37

71 Anmelder: Riege, Hans, Dr.  
Am Guntramshügel 22  
W-8220 Traunstein(DE)

72 Erfinder: Riege, Hans, Dr.  
Am Guntramshügel 22  
W-8220 Traunstein(DE)

54 Kathode zur Erzeugung von intensiven, modulierten Ein- oder Mehrkanal-Elektronenstrahlen.

57 Beschrieben wird eine Quelle für gepulste Elektronenstrahlen, welche großflächig zur Emission angeregt und entweder als Gesamtheit oder individuell in ihrer Pulsfrequenz, Energie und Stromstärke moduliert werden können. Die Kathode kann als Elektronenkanone für Anwendungen in Beschleunigern

und freien Elektronenlasern, aber auch in Hochleistungsradiofrequenz- und Kathodenstrahlröhren dienen. Die Anwendungen als modulierte Gigaherzquelle und als Quelle zur parallelen Bildinformationsverarbeitung in kompakten Kathodenstrahlröhren lassen sich als Hauptmerkmale nennen.

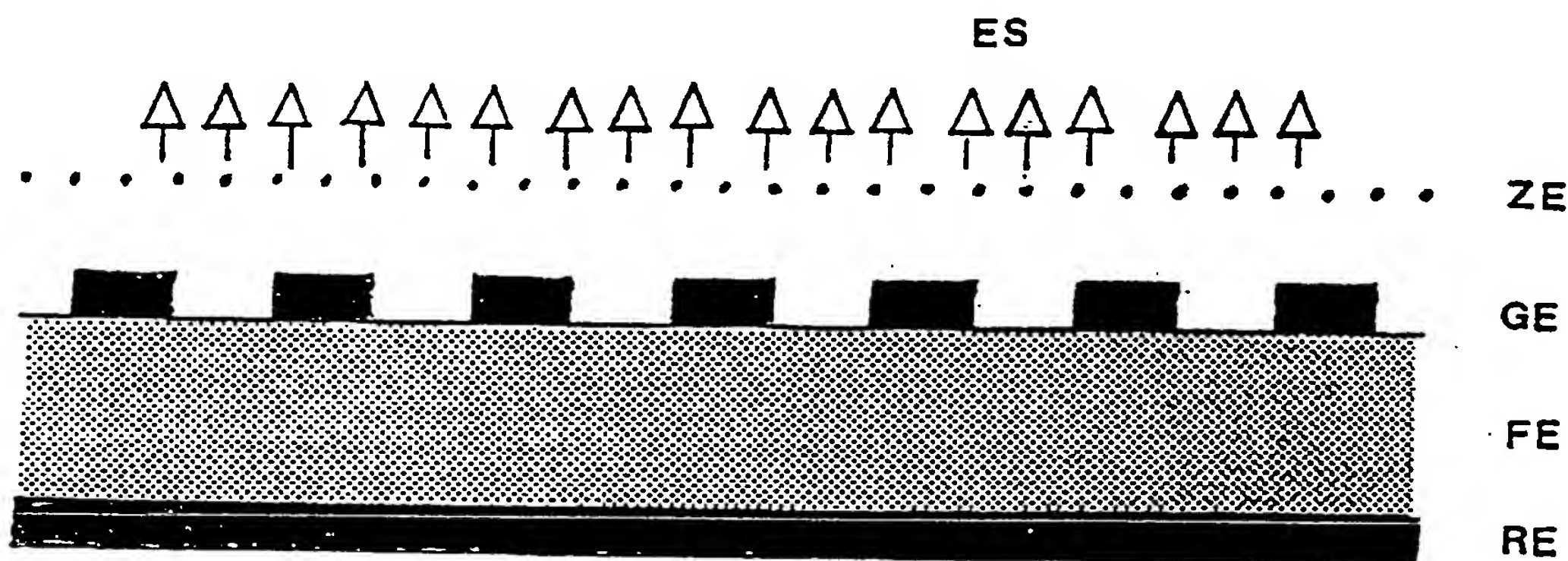


FIG. 1

EP 0 428 853 A3



Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER  
RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 90 11 9196

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X,A	APPLIED PHYSICS LETTERS vol. 54, no. 21, 22 Mai 1989, LONDON GB Seiten 2071 - 2073; H Gundel et al.: "Low-pressure hollow cathode switch triggered by a pulsed electron beam emitted from ferroelectrics" * das ganze Dokument *	1,2-3	H 01 J 1/30 H 01 J 3/02
A	FERROELECTRICS. vol. 94, 1989, LONDON GB Seiten 337 - 342; H Gundel et al.: "Fast polarization changes in PZT ceramics by high-voltage pulses" * Seiten 337 - 338 ** Seite 341, letzter Absatz *	1-3	
P,A	Nuclear Instruments and methods in Physics Research A vol. 280, August 1989, Netherlands Seiten 1 - 6; H Gundel et al.: "Fast polarization changes in ferroelectrics and their application in accelerators" * das ganze Dokument *	1-3	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			H 01 J H 01 G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		15 Juli 91	
		Prüfer	
		COLVIN G.G.	
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b>			
X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet			
Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie			
A: technologischer Hintergrund			
O: mündliche Offenbarung			
P: Zwischenliteratur			
T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze			
E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist			
D: in der Anmeldung angeführtes Dokument			
L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument			
&: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**A cathode for the production of intensive, modulated, single- or multi-channel electron beams**

A source is described for pulsed electron beams, the emission of which over a large surface area is effected by excitation, and the pulse frequency, energy and current density of which can be modulated either as a whole or individually. The cathode can be employed as an electron gun for applications in accelerators and free electron lasers, and can also be employed in high-output radio frequency tubes and cathode ray tubes. Applications as a modulated Gigahertz source and as a source for parallel image information processing in compact cathode ray tubes can be cited as the main features.



## **A CATHODE FOR THE PRODUCTION OF INTENSIVE, MODULATED, SINGLE- OR MULTI-CHANNEL ELECTRON BEAMS**

This invention relates to a pulsed source for electron beams, which, corresponding to the  
5 precharacterising clause of claim 1, is intended to be used, after prior modulation, for the  
production of high-frequency waves or microwaves or for the transport of information.

Electron sources play a key apart in many modern branches of technology, such as  
information processing, electronics, material processing, laser technology, microwave  
10 technology, high-frequency technology and accelerator technology. In this connection, not  
only are continuously increasing particle beam densities and energies desired, but it also has  
to be possible to vary and control the beam intensities, beam densities, beam forms, pulse  
lengths and beam qualities over wide limits. Moreover, the application of particle beams  
should not be restricted to vacuum only, but should also be possible in an environment  
15 comprising a low-pressure gas or a plasma. A defined energy of the individual particles with  
a relatively low width of scatter is normally necessary. An effective source has to fulfil four  
conditions:

- A defined free quantity of charge must be provided for the desired time on a surface  
of an emitting medium.
- 20 • An electric field has to pull off the charged particles from the surface unless they are  
pushed off due to their intrinsic space- or surface charge field.
- The same, or a superimposed, electric field has to modulate the emitted beam in the  
desired manner.
- The emitted particles optionally have to be brought, by a further, external electric  
25 field, to the desired final energy.

Nowadays, electron beams are essentially produced with the aid of thermionic and  
photoelectric methods, as well as by secondary emission or pure field emission. Metals,  
photocathodes or semiconductors are generally used in vacuum as the emitting media. In fact,  
30 neither thermionic nor photoelectric methods, nor secondary emission, are actual emission  
effects, but all require a strong electric extraction field. This is necessary on account of the  
final electron work function which an electrically conducting medium exhibits.

In field emission, the extraction field strength is so high that high current densities are extracted from conductors even at room temperature. Amplification of field emission by orders of magnitude, or field emission using a considerably reduced electric extraction field, can be achieved by employing a large number of fine peaks on the emitting surface (vacuum microelectronics; e.g. see T. Grandke, Phys. Bl. 45 (1989) No. 10, page 410).

One example of the emission of electrons without an external attracting field is the production of pulsed particle beams with the aid of ferroelectrics which are subjected to a rapid reversal of polarisation (see Patent Applications 88 8 636 / INPI, Paris, and P 38 33 604.9 / German Patent Office, Munich. In simplified terms, this unimpeded self-emission from ferroelectric surfaces can be explained by the following facts: firstly, ferroelectrics are generally non-conductors with a negligible work function; and secondly, reflector charges, which in a conductor pull electrons which have already emerged directly back to their place of emission, have been brought in a ferroelectric (FE) on to the opposite side of the active film by the change in spontaneous electrical polarisation. The field which is exerted by the reflector charges on the electrons emitted from the ferroelectric medium is negligible by comparison with the intrinsic space-charge field produced by surface charges. However, the amplitude of the mean absolute space-charge field is inversely proportional to the thickness of the FE film. With thin films, therefore, extensive, two-dimensional electron emission can be produced, even at very low voltages, e.g. less than 100 volts, and the mean energy of the emitted electrons is of the same order of magnitude. Since the electric fields which are necessary for the reversal of polarisation, for PZT and PLZT ceramics, for example, fall within the range from 10 to 100 kV/cm, this results in film thicknesses from 10 to 100  $\mu\text{m}$  for such low-voltage applications.

The underlying object of the present invention is to produce electron beams having a controllable time-dependent structure, geometry (e.g. with a round, strip-shaped or annular beam cross section), current strength and current density.

This object is achieved according to the invention in that an electron beam is emitted from the free surface of a ferroelectric (FE) film which has been subjected to a partial or complete reversal of polarisation by a high-current voltage pulse via a perforated electrode. Since an FE film which is subjected to rapid reversal of polarisation emits without an external field,

external fields can be completely used for controlling the emitted electron beam pulses, as described in the features of the precharacterising clause of claim 1. This means that the electrons can either be accelerated, slowed down or held back completely, e.g. by using an electrode arrangement ZE as shown in Figures 1 and 2. The emission current density  $j$  results from the fraction of the polarisation  $\Delta P_s$ , which is reversed, produced or removed and the time interval  $\Delta t_r$  over which this change is made:

$$j = \frac{\Delta P_s}{\Delta t_r}$$

The emission pulse length is normally shorter than or equal to the external polarisation reversal pulses which have to be applied between the (grid) electrode GE and the back electrode RE on the FE film. The emitted electron current strength  $I$  results from  $j$  and the emitting area  $F$  as  $I = j \times F$ . The mean electron current densities and current strengths still depend on the pulse frequency and pulse length.

Not only can the instantaneous and mean intensities of the emitted electron beam pulse be controlled by a moderate external field, but the original pulse structure can also be subdivided even further by correspondingly modulated fields, via the electrode ZE in front of the FE surface GE. For example, a typical emission pulse of length 40 ns can be transformed by an HF-modulated "attracting electrode" ZE into a pulse of length 40 ns with a repetition rate which extends far into the Gigahertz range. The prerequisite for this is that the amplitude of the (sinusoidal) modulation field strength exceeds the value of the mean kinetic electron emission energy in eV. If electrode ZE has openings for the passage of electrons, the transported electron beam is blocked during the negative half-wave and is further accelerated during the positive half-wave (Figure 1).

Subsidiary claims 2 and 3 are oriented towards different uses of the emitted electrons. In both cases, however, a perforated electrode GE is necessary, comprising free and metal-covered surface fractions of the FE film. The partitioning has to be selected so that the spontaneous polarisation of the film can be changed by the external field at the desired locations, wherein, however, sufficient free surface must be made available for the emission of electrons.

Modulation, or primary acceleration away from the surface, has to be effected using a second electrode arrangement which is separated from the film by a vacuum-, gas- or plasma-filled section. At the same time, this electrode can be used as a mask for the partial screening out  
5 of primary beam fractions.

Subsidiary claim 2 relates to a large-surface, **uniformly** modulated electron source (Figure 1). All parts of the beam are thus subjected to the same modulation by a time-dependent electrical potential which is applied via electrode ZE. The phase differences which arise  
10 during the time of application of the modulation potential can subsequently be geometrically compensated for on the emitted beam (H.M. Bizek et al., IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 16, No. 2, April 1988, p. 258). The mean intensity of the emitted beam is determined by the intensity of the spontaneous change in polarisation  $\Delta P_s$  and by the repetition frequency of the emission pulses. At emission current densities from 0 to 30 A/cm<sup>2</sup>,  
15 which can be achieved with ferroelectric PLZT ceramics, current amplitudes up to the kiloampere range are possible if there are several cm<sup>2</sup> of active surface.

Subsidiary claim 3 relates to an electron beam source with which some or very many individual fractions of the total beam can be modulated **individually**. Microelectronic  
20 triggering of the individual channels is effected in parallel, i.e. via separately controllable electrodes RE. In order to change the polarisation of an individual emitting cell, pulses of the order of 100 ns, with a current of 1 A and 10 to 30 V/cm field strength, are necessary over a film thickness of 100  $\mu$ m. In this case, electrode ZE is employed as a mask for screening out unwanted beam fractions, as well as for the acceleration of the individual beams to a defined  
25 kinetic energy which is suited to the purpose of application.

Commercial applications generally occur as sources for high-current particle accelerators, such as those which are necessary for the operation of free electron lasers, as well as sources for the production of microwave, X-ray and laser radiation, or as new types of components  
30 in microelectronics (micro vacuum switches and micro lasers). Commercial applications of the arrangements according to subsidiary claim 2 are primarily seen to be in the production of electromagnetic waves which extend far into the Gigahertz region (in accordance with the principles of klystrons and gigatrons, e.g. see H.M. Bizek et al., IEEE Transactions on

Plasma Science, Vol. 16, No. 2, April 1988, p. 258). The advantages of the cathode described here are firstly in the self-emission of the emitting film and secondly in the simplicity of manufacture of the overall arrangement by thin film methods which are known in microelectronics. Since the cathode arrangement described here only requires planar FE  
5 films, the manufacture thereof is less difficult than that of field emission cathodes which are customary in vacuum microelectronics and which necessitate accurate control of the uniformity of the ultra-fine emitting peaks (with radii in  $\mu\text{m}$ ).

The arrangement according to subsidiary claim 3 enables information to be transmitted in  
10 parallel by separately controlled electron beams. Information can be made optically visible on a screen in the known manner. The high pixel density which is possible makes it possible to construct cathode ray tubes with a very high resolution. Whereas a conventional cathode ray tube necessitates series processing, which is costly with regard to beam optics and electronics, of an individual electron beam, or, in the case of coloured image tubes, of a  
15 plurality of electron beams, permits the parallel triggering of an optically simple, compact and ultra-flat design of the electron beam tube. A combination of a plurality of electron beam channels to form a common pixel group, in combination with a corresponding hole mask arrangement, enables conventional colour phosphor screens to be used to for the display of coloured images.



## Claims

1. A large-surface cathode for the production of pulsed, modulated electron beams,  
5 consisting of

- a ferroelectric film FE  
two electrode arrangements RE and GE on both sides of FE  
an external auxiliary electrode ZE in a vacuum or low-pressure gas at a distance of  
several millimetres from the emitting surface,  
10 two electrical circuits for field production and for field modulation, firstly between  
RE and GE, and secondly between ZE and GE,  
characterised in that  
the spontaneous polarisation of the ferroelectric film is changed by a voltage pulse  
applied between RE and GE, and electron emission is generated from the free surface  
15 portions on the side of the perforated electrode,
- the intensity and time-dependent structure of the emitted electron beam are  
modulated with the aid of electrode ZE,
- the electron beam is masked or shaped in cross-section by the geometric arrangement  
of ZE,
- 20 • the beam is either transported further in vacuum or is used for the ionisation of low-  
pressure gas,
- the mean intensity of the electron beam is determined either by the intensity of the  
reversal of polarisation of FE or by the repetition frequency of the excitation pulse at  
RE and GE.

25 2. A cathode according to main claim 1 for the production of large-surface,  
**homogeneously modulated** electron beams having a narrow energy distribution,  
characterised in that

- the entire FE film is relatively uniformly subjected to reversed polarisation so that all  
30 the free strips or holes on the GE side emit electrons with a relatively low kinetic  
energy,

- an alternating electric modulation field, with an amplitude, the voltage of which reaches or exceeds the electron energy, is applied to electrode ZE, whereby separate electron beam pulses are produced at the frequency of the modulation field,
- the spacing and size of the openings in ZE results in the formation of a spatially substantially uniform electron current density in the following transport space,
- the lateral design of the overall arrangement, as well as the introduction of the excitation and modulation fields, are selected so that the phase position of the emitted beam fractions depend on one coordinate only (this determines a strip-like overall arrangement).

3. A cathode according to main claim 1 for the production of a multiplicity of **separately modulated**, intensity-controlled, individual electron beams, characterised in that

- electrodes RE and GE are partitioned into subsidiary regions which can comprise a plurality of emission channels in which the current strength and energy of the emitted electrons, as well as the pulse frequency, can be separately controlled,
- electrode ZE is employed as a mask for screening out defined individual beams, and for accelerating electrons to the energy which is necessary for the application (e.g. in order to cause light emission which is proportional to the electron current density on impingement on a fluorescent screen),
- the total number of the emitted beams is divided into subsidiary systems (e.g. carriers of different colours) which serve for the transport of complex information (e.g. of graphic representations of any type).